

Análisis de imagen para la identificación de objetos en filtros procedentes de las plumas de turbidez

Image analysis to identify objects in filters obtained from turbidity plumes

E. Nava (1), P. Bárcenas (2), P. Otero (1), N. López-González (3), M.C. Clemente (1), L.M. Fernández-Salas (4), M.C. García (3), F. Moya (3), J.T. Vázquez (3), F.J. Lobo (5), O. Sánchez-Guillamón (3), D. Palomino (3), M. Vargas (3), J. Macías (2) & V. Díaz-del-Río (3)

- (1) Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, ETSI de Telecomunicación, Universidad de Málaga, 29071, Spain, E-mail: en@uma.es
- (2) Dpto. Análisis Matemático, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 29071 Málaga, Spain
- (3) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, 29640, Fuengirola, Málaga, Spain.
- (4) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, 11006 Cádiz, Spain
- (5) Instituto Andalúz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Universidad de Granada), 18100, Armilla, Granada, Spain.

Abstract: The study of turbidity plumes developed in front of the river mouth, have an increasing scientific interest due to its contribution to infralittoral sediment transport and deposition. River plume evolution and deposition in submarine fans related to environmental constrains could be interpreted by the analysis of suspended particulate matter (SPM) retained during the filtering process. In this study, a new methodology approach to obtain quantitative results in sediment filters, using custom digital image processing techniques, is presented and some promising preliminary results are obtained. This procedure could avoid time-consuming during SPM analysis allowing an easy way to obtain fast and quantitative information, which might lead to a better interpretation and comprehension of factors involved in the evolution of riverine turbidity plumes.

Key words: Image analysis, Turbidity plumes, Suspended Particulate Matter, Microplastic, Guadalhorce River

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las plumas de turbidez procedentes del drenaje continental canalizado, principalmente las originadas durante episodios de fuertes avenidas en ríos cortos, montañosos y torrenciales, adquiere una especial relevancia en zonas infralitorales y de plataforma interna. Esta relevancia se manifiesta en la formación de depósitos sedimentarios frente a las desembocaduras de los ríos, cuyo desarrollo depende de las condiciones ambientales en las cuencas de drenaje, como ocurre en los ríos de Andalucía oriental (Liquete *et al.*, 2005; Bárcenas *et al.*, 2015), entre ellos el Guadalhorce, donde centramos este trabajo (Fig. 1).

El estudio de las plumas de turbidez se realiza mediante la aplicación de diferentes métodos (directos e indirectos) que caracterizan, por un lado, la columna de agua y, por otro, los depósitos sedimentarios generados a partir de la decantación del material particulado en suspensión (Suspended Particulate Matter, SPM), el cual podría definirse como todo el material (orgánico e inorgánico) retenido en un filtro con un tamaño de poro de 0,4-0,5 μm (Kirk, 1994). La concentración de SPM así como su cualidad y cantidad, puede producir

diferentes efectos sobre áreas medioambientalmente sensibles por la presencia de contaminantes unidos a la SPM (Nolting & Eisma, 1988), el transporte de micro-contaminantes y metales traza (Laane *et al.*, 1999), o la influencia en las condiciones de luminosidad de la columna de agua (turbidez), pudiendo causar una disminución de organismos filtradores, vegetación acuática y plancton, afectando, consecuentemente, a las poblaciones de peces y pájaros (Suijlen & Duin, 2002). La SPM está compuesta principalmente por materia orgánica (algas, restos vegetales o animales) y materia inorgánica (minerales y fragmentos de roca de tamaño muy fino) transportada en suspensión. En las últimas décadas, debido al aumento de la polución, se ha observado el incremento en la SPM de partículas de carácter antrópico, como las de polímeros orgánicos sintéticos. Estas partículas, también llamadas plásticos o microplásticos ($\leq 1\text{ mm}$) (Imhof *et al.*, 2012) están reconocidas como una amenaza emergente en el estudio de la contaminación marina, debido a su persistencia, su ubicuidad (Kubota, 1994) y su potencial tóxico (Engler, 2012). Por lo tanto, los estudios enfocados a su detección y cuantificación han cobrado gran interés.

Uno de los métodos directos utilizado para el estudio de la SPM y sus componentes, es la toma directa de muestras de agua y su posterior filtrado para obtener una muestra de las partículas presentes en las plumas de turbidez y que quedan retenidas en los filtros. Son estos filtros los que han servido para realizar las primeras experiencias de análisis de imagen (ADI) que se discuten en este trabajo, cuyo principal objetivo es definir una técnica basada en el análisis de imagen capaz de cuantificar, de manera rápida e indirecta, la cantidad y la composición de la SPM.

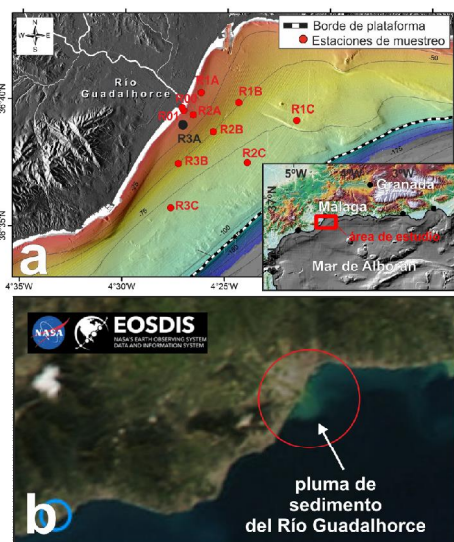


Fig. 1. a) Situación geográfica del área de estudio donde se incluyen las estaciones de muestreo del proyecto TESELA, b) Imagen satelital de una pluma de sedimento en suspensión.

Las técnicas de análisis de imagen se han utilizado con éxito en muchas disciplinas científicas, desde el campo de las ciencias médicas o de la salud hasta las diversas ramas de la ciencia y la ingeniería (Russ, 2011). Su aplicación resulta ventajosa cuando se busca obtener datos cuantitativos sobre el contenido de imágenes o vídeo de forma automática, permitiendo una mayor productividad en la obtención de datos para su posterior análisis, así como una menor variabilidad inter e intra-observador.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Técnicas de prospección y laboratorio

Para el análisis de la SPM se obtuvieron muestras de agua con botellas Niskin de 5l durante la campaña TESELA140900 en diferentes puntos de muestreo y a distintas profundidades. De esta forma, se estableció una red de estaciones en la zona de influencia de la pluma de turbidez asociada a las avenidas del río Guadalhorce (Fig. 1a), previamente diseñada a partir de la observación de imágenes satelital (Fig. 1b). Para este trabajo se han estudiado las muestras del tercer día de campaña (02/10/14) en la estación R3A (Fig. 1a). El filtrado de agua se realizó mediante una

bomba de vacío utilizando filtros de nitrato de celulosa (0,42µm de tamaño de poro y 47mm diámetro), previamente secados y pesados (P1). El filtro con la SPM resultante del filtrado (Fig. 2a, b) fue secado y pesado (P2). La diferencia entre P2 y P1 proporciona la cantidad de SPM (mg/l) retenida en el filtro procedente de la muestra de agua de mar.

Posteriormente, se realizaron 6 fotografías de los filtros con el contenido en SPM (Fig. 2b) con un microscopio óptico Nikon Eclipse 50i a 400 de magnitud, usando el software ACT-2U Nikon. Todos ellos fueron digitalizados a través del software Image Pro Plus 6.2.0424 (Media Cybernetics, Inc.) (Fig. 2c) para la medición e identificación de las partículas y el análisis de color.

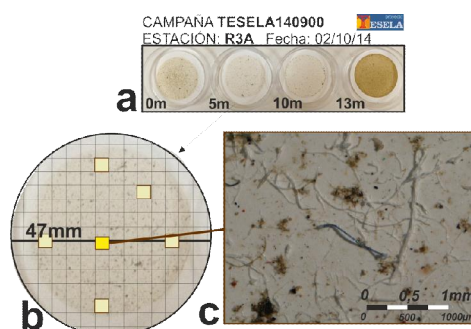


Fig. 2. a) Filtros con SPM retenida tras el filtrado del agua a distintas profundidades, b) Filtro nº 275 (utilizado como ejemplo en este trabajo) donde se indica la localización de las fotografías y, c) Fotografía de la parte central del filtro realizada en el microscopio óptico a 400 de magnitud cubriendo un área aproximada de 9mm².

2.2 Técnicas de imagen

El procesado y tratamiento de las imágenes de los filtros de SPM busca como objetivo principal la cuantificación del material en suspensión retenido en el filtro, diferenciándolo del mismo. La visualización subjetiva de este tipo de imágenes permite distinguir la SPM del fondo de la imagen utilizando el color. Generalmente, en estas imágenes tomadas con el microscopio óptico se diferencia un fondo claro correspondiente al filtro (Fig. 3a), sobre el que se ha depositado la SPM de color más oscuro, en tonalidades que van desde el naranja al marrón oscuro o negro. Por ello, se ha desarrollado un algoritmo que utiliza esta información para segmentar la imagen en diferentes regiones.

2.2.a Conversión de las imágenes al sistema de coordenadas de color L*a*b*

Las imágenes obtenidas en el microscopio óptico tienen un tamaño de 1280x960 píxeles, están almacenadas en formato TIFF (sin compresión) y utilizan el sistema de coordenadas de color RGB. Este sistema de coordenadas es ampliamente usado ya que la mayoría de los dispositivos de visualización de imágenes emiten luz y pueden visualizar directamente imágenes o vídeo en coordenadas RGB.

Sin embargo, la percepción humana de los colores actúa de forma diferente y la clasificación de los píxeles requiere, utilizando el color como descriptor, la definición de una distancia o métrica que permita evaluar la separación entre muestras de colores, tal como el sistema $L^*a^*b^*$, definido en 1976 por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) (Smith *et al.*, 1931). La conversión del espacio de color RGB al $L^*a^*b^*$ se realiza en dos etapas: a) convirtiendo los valores RGB de la imagen al sistema de coordenadas de color XYZ y, b) utilizando un blanco de referencia con coordenadas de color $[X_n Y_n Z_n]^T$ (en nuestro caso, el CIE D65), realizando la transformación a $L^*a^*b^*$:

$$L^* = 116 Y_1 - 16$$

$$a^* = 500 (X_1 - Y_1)$$

$$b^* = 100 (Y_1 - Z_1)$$

donde X_1 , Y_1 y Z_1 se obtienen utilizando la misma transformación no lineal

$$X_1 = \begin{cases} \sqrt[3]{X/X_n} & (X/X_n) > X_0 \\ \alpha (X/X_n) + \beta & (X/X_n) \leq X_0 \end{cases},$$

siendo $X_0=0.008856$, $\alpha=7.787$ y $\beta=0.13793$.

2.2.b Clasificación de los píxeles de la imagen en función de sus características de color

Una vez realizada la transformación de las coordenadas de color, se aplica el algoritmo *k-means clustering* (Lloyd, 1982), que consiste en: a) determinar a-priori el número de clases (*clusters*) del clasificador (*k*), b) asignarles un centroide inicial, c) calcular la distancia de cada píxel a cada centroide y asignarlo al más próximo, d) recalculan los centroides de cada clase mediante el promedio de los píxeles asignados tras el cálculo de las distancias y, e) repetir iterativamente hasta que no haya modificaciones en la asignación o se alcance el máximo número de iteraciones permitido.

Se ha desarrollado un programa en lenguaje Matlab (*R2014b, Mathworks Inc*) con los algoritmos de conversión de las coordenadas de color y clustering que lee automáticamente la lista de ficheros que corresponden a las fotografías de los filtros.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis del material particulado en suspensión

La cantidad de SPM retenida en los filtros varía entre 0,35 y 18,27 mg/l. En concreto, el filtro nº 275 (Fig. 2, 3) contiene 1,8 mg/l de SPM (muestra recogida a 5m de profundidad en la estación R3A).

A través del análisis visual realizado con el microscopio óptico, se han separado en 3 clases la SPM total retenida (1-3) y diferenciada del filtro (4) a partir de su color, forma y/o tamaño (Fig. 3a):

1. **Material litogénico:** partículas inorgánicas de diferente tamaño, forma y color (minerales y fragmentos de roca).

2. **Material biogénico:** 2.1) Materia orgánica: básicamente flóculos de color marrón-marrón verdoso; 2.2) Filamentos vegetales: partículas filamentosas de color marrón o verdoso y, 2.3) Microorganismos (diatomeas, entre otros).

3. **Material antropogénico:** Se han reconocido microplásticos, con formas diversas (filamentosos, redondeados o irregulares) y colores variados (blanco-transparente, azules, rojos, entre otros).

4. **Filtro:** Se separa el fondo, con un color más claro.

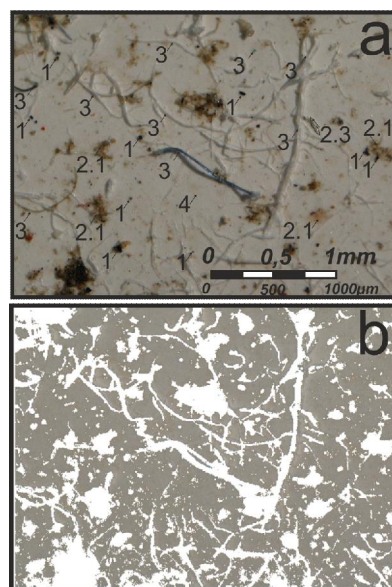


Fig. 3. a) Imagen obtenida con luz natural con un microscopio óptico de la parte central del filtro 275 donde se indican los tres tipos de clases de partículas identificadas y b) Imagen procesada con el algoritmo *k-means* ($k=4$), mostrando los píxeles del fondo en su color original y los de la SPM en blanco.

3.2 Resultados obtenidos con el programa de análisis de imágenes

Utilizando el programa desarrollado, se han obtenido los porcentajes de píxeles que corresponden a la SPM y a sus distintas clases (1-3) y al fondo del filtro (4) (Tabla I).

Tabla I. Resultados obtenidos con la aplicación del análisis de imágenes al filtro nº 275 para las seis imágenes de microscopio ($i=1, \dots, 6$). Se muestra el porcentaje de píxeles que corresponden a las clases de partículas diferenciadas en la SPM (1-3) y al fondo (4).

i	1	2	3	4
1	3,3	8,4	22,8	65,5
2	3,9	7,9	18,4	69,8
3	4,6	10,6	32,1	52,7
4	4,2	8,1	19,3	68,4
5	2,6	7,4	18,8	71,2
6	3,3	6,6	18,0	72,1

Se observa que los porcentajes de píxeles correspondientes a la SPM se encuentran entre el 28-47%, siendo el componente mayoritario de la SPM la

clase 3 (60-66%), seguida de la clase 2 (22-26%) y siendo la componente minoritaria la clase 1 (4-7%).

4. DISCUSIÓN

La concentración de SPM en la pluma de turbidez formada por la descarga del Río Guadalhorce es elevada (0,3-18,3 mg/l de concentración, con un valor medio de 4,6 mg/l) comparada con los valores descritos para el Mar Mediterráneo (0,1-4,6 mg/l) (Emelyano & Shimkus, 1986). Esto se debe a la intensa erosión de los materiales de la cuenca de drenaje del río Guadalhorce durante los periodos de lluvia, y que se ve reflejada en la importante descarga de sedimentos y material en suspensión en forma de plumas de turbidez concentradas. Por otro lado, las fotografías con microscopio óptico de los filtros muestran que el contenido en SPM está formado por material litogénico (minerales y fragmentos de roca), biogénico (flóculos de materia orgánica, filamentos vegetales y microorganismos) y antropogénico (básicamente microplásticos de tamaño ≤ 1 mm). El análisis de imagen realizado sobre estas fotografías nos ha permitido diferenciar, de una manera rápida y eficaz: a) el porcentaje de SPM contenida en los filtros, b) las clases de partículas separadas visualmente y, c) el porcentaje de cada una de las clases respecto de la SPM total. Los resultados obtenidos en este estudio permiten establecer que el componente mayoritario de la SPM que forma la pluma de turbidez del río Guadalhorce es el material de tipo antropogénico, con una presencia del 60-66% en el contenido total de la SPM. Según se ha podido observar, este material está básicamente constituido por partículas de microplásticos altamente contaminantes. Si extrapolamos el porcentaje de píxeles correspondiente a esta clase al área total del filtro 275, se puede sugerir que de los 1,8 mg/l de SPM contenida en el mismo, prácticamente 1,08 mg/l corresponderían a estos polímeros orgánicos sintéticos. Una estrategia más precisa para estimar la concentración de los diferentes tipos de partículas, podría ser ponderar los porcentajes obtenidos con la densidad media de cada tipo de residuo obtenida en un muestreo significativo. Por lo tanto, se podría proponer esta metodología como una forma indirecta cuantitativa y cualitativa de clasificación de las partículas presentes en la SPM proveniente de las plumas de turbidez, así como para la detección de partículas contaminantes en el material en suspensión.

5. CONCLUSIONES

El análisis de imagen de los filtros con material particulado procedente de las plumas de turbidez asociadas a las descargas fluviales del río Guadalhorce ha demostrado ser un método eficaz para: a) la estimación del contenido en SPM y b) la

diferenciación de partículas clasificándolas de manera rápida y eficaz, mostrando que los microplásticos son uno de los componentes mayoritarios de la SPM en las descargas fluviales de este río.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de las actividades del Proyecto de Excelencia Científica, financiado por la Junta de Andalucía, TESELA (P11/RNM7069). Agradecemos a la tripulación del B/O Isla de Alborán la ayuda profesional que nos ha brindado en todas las campañas y a todos los colaboradores, principalmente masterandos, que se han embarcado con nosotros y que lo han hecho con ilusión y dedicación intensa.

REFERENCIAS

- Bárceñas, P., Lobo, F.J., Macías, J., Fernández Salas, L.M., López-González, N. & Díaz del Río, V. (2015). Submarine deltaic geometries linked to steep, mountainous drainage basins in the northern shelf of the Alboran Sea: Filling the gaps in the spectrum of deltaic deposition. *Geomorphology*, 232, 125-144.
- Emelyanov, E.M. & Shimkus, K.M. (1986). Geochemistry and Sedimentology of the Mediterranean Sea. *Sedimentology and Petroleum Geology*, Vol. 1, 553 pp.
- Imhof *et al.* (2012). A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10, 524-537.
- Kirk, J.T.O. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Sec. Ed. Cambridge university press, Cambridge.
- Kubota, M. (1994). A mechanism for the accumulation of floating marine debris North of Hawaii. *Journal Of Physical Oceanography*, 24, 1059-1064.
- Laane *et al.* (1999). Trends in the spatial and temporal distribution of metals (Cd, Cu, Zn and Pb) and organic compounds (PCBs and PAHs) in Dutch coastal zone sediments from 1981 to 1996: a model case study for Cd and PCBs. *Journal of Sea Research*, 41, 1-17.
- Liquete, C., Arnau, P., Canals, M. & Colas, S. (2005). Mediterranean river systems of Andalusia, southern Spain, and associated deltas: a source to sink approach. *Marine Geology*, 222-223, 471-495.
- Lloyd, S.P. (1982). Least squares quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28, 129-137.
- Nolting, R. F. & Eisma, D. (1988). Elementary composition of suspended particulate matter in the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 22, 219-236.
- Russ, J.C. (2011). *The image processing handbook (6ed)*, CRC Press. 885pp.
- Smith, T & Guild, J. (1931). The CIE colorimetric standards and their use. *Transactions of the Optical Society*, 33, 73-134.
- Stanley, D.J. & Warne, A.G. (1994). Worldwide Initiation of Holocene Marine Deltas by Deceleration of Sea-Level Rise. *Science*, 265, 228-231.
- Suijlen, J.M. & Duin, R.N.M. (2002). Atlas of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea. (*Report RIKZ/2002.059*. RIKZ, The Hague).